转 Bt 基因棉花国抗 62 对棉铃虫生长发育的影响及田间抗虫效果

徐　遥[1,2]，丁瑞丰[2]，李号宾[2]，刘　建[2]，吴孔明[3]，陈学新[1,*]

（1.浙江大学昆虫科学研究所，杭州　310029；2.新疆农业科学院植物保护研究所，乌鲁木齐　830091；3.中国农业科学院植物保护研究所，北京　100094）

摘要：为了明确新疆第一个自主转 Bt 基因棉花品种国抗 62 对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 生长发育影响及田间抗虫效果，2005 年进行了室内生物测定和田间小区试验。在室内以国抗 62（转 Cry1Ac 基因棉花）和中棉 35（对照常规棉花）的叶片饲喂棉铃虫幼虫，从幼虫发育历期、体重、存活率、化蛹等方面，分析了棉铃虫生长发育动态。结果表明，国抗 62 对棉铃虫生长发育的抑制作用非常显著。与对照相比，取食国抗 62 的棉铃虫幼虫 1～6 龄龄期分别延长了 1.0，7.8，8.2，17.8，20.3 和 >21.3 天；幼虫发育到 6 龄时存活率仅为 2.6%，最终无一化蛹，而对照幼虫发育到 6 龄时存活率为 91.8%，最终化蛹率为 89.8%。田间小区调查结果显示国抗 62 对第 2 代棉铃虫有非常好的抗虫效果：两个品种棉田棉铃虫落卵量无显著差异，但国抗 62 棉田比对照棉田虫口数量降低 85.7%，顶尖被害率降低 94.4%，蕾铃被害率降低 95.1%，差异达到显著和极显著水平。但国抗 62 对第 3 代棉铃虫的田间抗虫效果欠佳。棉铃虫在新疆棉田以第 2 代为害为主，因此，国抗 62 能够起到有效的控制作用。

关键词：转 Bt 基因棉花；棉铃虫；生长发育；抗虫效果

中图分类号：　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2008)02-0222-05

Effect of transgenic Bt cotton GK62 on the development of cotton bollworm and its resistant efficiency in fields

XU Yao[1,2], DING Rui-Feng[2], LI Hao-Bin[2], LIU Jian[2], WU Kong-Ming[3], CHEN Xue-Xin[1,*] (1. Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: The effects of transgenic Bt cotton GK62 on the larval development of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, and its resistant efficiency in field were detected in Xinjiang, China in 2005. The foliages of GK62 (carrying Cry1Ac gene) and ZHONGMIAN35 (conventional non-Bt cotton) were used to feed the cotton bollworm larvae in the laboratory. The results showed that the developmental duration, body weight and survival rate of larvae fed on GK62 were significantly different from those of the control. The developmental durations of 1st－6th instar larvae fed with GK62 were delayed by 1.0, 7.8, 8.2, 17.8, 20.3 and over 21.3 days, respectively; the survival rate of larvae developed from 1st to 6th instar was only 2.6%, and none of them pupated successfully, while the survival rate and pupation rate of the control larvae were 91.8% and 89.8%, respectively. Field investigations revealed that GK62 cotton showed significant resistance to the damage by the second-generation cotton bollworm. Although there was no significant difference in the egg density of cotton bollworm laid on the cotton plants between GK62 and the control, the number of the cotton bollworm larvae attacking the GK62 and the damaged rates of tops and squares of GK62 were significantly lower than those of the control, decreasing by 85.7%, 94.4% and 95.1%, respectively. But GK62 was less

基金项目：国家重点基础研究发展规划'973'项目(001CB109004, 2007CB109202)；新疆农业科学院院长基金项目(2007Y04)

作者简介：徐遥，女，1965 年 1 月生，湖北人，博士研究生，副研究员，主要从事转基因抗虫棉安全性研究。E-mail：nkyxy65@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail：xxchen@zju.edu.cn

收稿日期 Received：2007-03-21；接受日期 Accepted：2007-12-19

effective to third-generation cotton bollworm in field. These results suggested that GK62 can be used effectively to resist the damage by the second-generation cotton bollworm in Xinjiang.

Key words: Transgenic Bt cotton; *Helicoverpa armigera*; growth and development; insect resistance

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 是世界性农业重大害虫，区域性灾变是棉铃虫发生的特点，对它的防控是我国农业生产面对的长期问题（Wu and Guo, 2005；Wu, 2006）。为了有效防治棉铃虫，我国自主研发并大面积推广种植了转 Bt 基因抗虫棉花，产生了显著的社会、经济和生态效益（赵奎军等，2000；贾士荣等，2001；郦卫弟等，2003a，b；孙长贵等，2003；张少燕等，2004；刘小侠等，2004；任璐等，2004a，b；熊格生等，2006）。

随着我国棉花生产战略性西移计划的实施，新疆的棉花生产在我国棉花种植业中已经占有相当重要的地位。2006 年新疆棉花种植面积达到 1 864 万亩，总产、单产、出口量均居全国第一（新疆新闻网，2006）。由于棉花面积的迅速扩大及粮食作物复种次数的增加，棉铃虫已成为新疆棉花生产稳定发展的主要障碍之一（马祁等，2000），转 Bt 基因棉花在新疆大力发展势在必行。专家预计，在未来的 5 ~ 10 年，转基因棉花将在新疆尤其是南疆棉区大面积推广应用。

但目前相对黄河流域和长江流域棉区而言，新疆棉区转基因抗虫棉种植面积比例一直较低，主要在环塔里木盆地一些绿洲种植，而在其他地方种植较少，主要原因是适合新疆生态条件的高产优质转基因抗虫品种较少。也正因如此，国内对转基因抗虫棉在新疆棉区应用效果的研究相对较少，且多集中于抗虫棉田节肢动物群落、田间防治效果等方面（封红兵等，2003；徐遥等，2004；李号宾等，2006），而没有涉及抗虫棉对棉铃虫生长发育、繁殖力影响等研究内容。

国抗 62 是新疆第一个自主转 Bt 基因抗虫棉品种，利用中国农业科学院生物技术中心构建的苏云金芽孢杆菌 Cry1Ac 抗虫基因，以自育高产优质抗病棉花新品系为受体，通过花粉管通道转导 Bt 基因，经多代性状聚合选育而成，2005 年通过国家转基因植物安全评价，2006 年获得国家新品种审定委员会审定命名。与众多国内外抗虫棉品种相比，其对棉铃虫的影响和田间抗虫效果还未见研究报道。本研究从取食转 Bt 基因抗虫棉花的棉铃虫幼虫发育历期、体重、存活、化蛹等方面入手，分析了国抗 62 对棉铃虫生长发育的影响，同时田间调查了国抗 62 对棉铃虫的抗虫效果，以期为新疆转 Bt 基因抗虫棉和抗虫棉自主品牌的研究和推广提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　室内棉铃虫幼虫生长发育观察

试验在阿克苏地区库车县（北纬 82°58′；东经 41°43′）进行。2005 年 7 月田间用杨枝把诱捕棉铃虫成虫，带回实验室，雌、雄混合放入直径 10 cm、高 12 cm 的养虫瓶内用 5% 蜂蜜水饲养。在瓶口上覆盖纱布，让雌蛾产卵于纱布上。卵孵化后，将初孵幼虫单头放入直径 1.5 cm、高 5 cm 的指形管内进行饲养，饲料为采自当地大田的国抗 62（转 Cry1Ac 基因棉花）和中棉 35（常规棉花）幼嫩叶片，每 2 天更换一次叶片。试验共 3 个重复，国抗 62 每个重复 100 头幼虫，中棉 35 每个重复 49 头幼虫。8 月 4 日开始进行饲养，每日检查记载各处理幼虫存活数、死亡数、龄期等指标。从 3 龄幼虫开始，称量每龄幼虫的体重。本试验由于用国抗 62 叶片饲养的幼虫在化蛹之前全部死亡，故没有称量蛹重。实验室温度 24℃ ~ 27℃，相对湿度 40% ~ 60 %，采用室内自然散射光，光周期为 14 ~ 13L∶10 ~ 11D。

1.2　田间抗虫性调查

试验于 2005 年在新疆阿克苏地区库车县齐满镇进行。供试棉花品种为国抗 62 和中棉 35。两个品种种植面积均为 1.33 hm^2，各分为 5 块地，每块 0.27 hm^2。种植密度为 225 000 株/hm^2。整个生长季节除了喷洒适量缩节胺外，不使用任何化学农药。6 ~ 8 月每块田采用五点取样法取样，每点 20 株，定期调查棉铃虫幼虫数量、幼虫龄期、棉花顶尖被害数量、蕾铃被害数量。

1.3　数据分析

运用 SAS 8.02 数据处理系统和 Microsoft Excel 对两个品种上棉铃虫生长发育及田间蕾铃被害率等数据进行差异显著性分析和作图。

2　结果与分析

2.1　国抗 62 对棉铃虫生长发育的影响

2.1.1　国抗 62 对棉铃虫幼虫发育速度的影响：取

食两个品种的棉铃虫幼虫各龄发育时间见表 1,可以看出取食国抗 62 的幼虫发育明显缓慢,幼虫 1~6 龄龄期分别延长了 1.0,7.8,8.2,17.8,20.3 和 > 21.3 天。取食中棉 35 的幼虫到 8 月 30 日全部化蛹,而取食国抗 62 的幼虫一直到 9 月 30 日仍没有化蛹,且多数未发育到 6 龄,发育呈停止状态,最后陆续死亡。

表 1 棉铃虫幼虫各龄发育时间(天)(新疆阿克苏,2005)

Table 1 Developmental duration (d) of different instar larvae of cotton bollworm (Aksu, Xinjiang, 2005)

品种 Cotton variety	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar
国抗 62 GK62	4 ± 1.4a	11.5 ± 2.1b	13.5 ± 5.0b	23.5 ± 0.7b	25 ± 1.4b	> 30b
中棉 35 ZHONGMIAN 35	3 ± 0.0a	3.7 ± 1.5a	5.3 ± 0.6a	5.7 ± 0.6a	4.7 ± 0.6a	8.7 ± 0.6a

表中数据为平均值 ± 标准差。同列数据后有不同字母表示在 0.05 水平差异显著。Date are mean ± *SD*. Data in the same column with different letters are significantly different at 0.05 level.

取食中棉 35 的棉铃虫 3, 4, 5, 6 龄幼虫体重分别为 32.9, 67.0, 176.7 和 298.4 mg,取食国抗 62 的棉铃虫 3,4,5,6 龄幼虫体重分别为 24.4,57.9,125.5 和 238.8 mg。取食国抗 62 可使幼虫体重减轻,4, 5, 6 龄均达极显著水平($df = 1, 14$, F 值分别为 20.26, 12.47 和 10.15, P 值分别为 0.001,0.003 和 0.007)。

2.1.2 国抗 62 对棉铃虫幼虫存活的影响: 自 8 月 4 日起至 9 月 7 日止用两个品种饲养的棉铃虫幼虫发育到各龄的存活率见图 1。可以看出,食用中棉 35 叶片的棉铃虫幼虫存活率很高,各龄存活率没有明显变化。但取食国抗 62 的棉铃虫幼虫各龄残存率呈明显下降趋势。用中棉 35 叶片饲养的幼虫发育到 6 龄时存活率为 91.8%,最终化蛹率为 89.8%;而用国抗 62 叶片饲养的幼虫发育到 6 龄时存活率仅为 2.6%,最终无一化蛹。

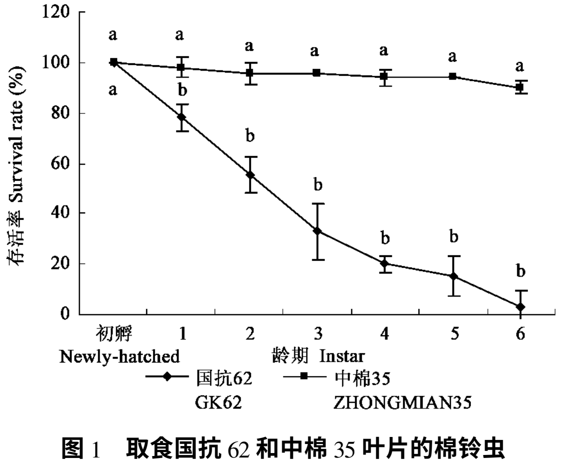

图 1 取食国抗 62 和中棉 35 叶片的棉铃虫幼虫各龄存活率

Fig. 1 Survival rate of cotton bollworm larvae fed on GK62 and ZHONGMIAN35 cotton leaves

同一龄期具有相同小写字母表示之间差异水平未达到显著($P > 0.05$)。Data in the same instar followed by the same small letter is not significantly different at P > 0.05 level.

2.2 国抗 62 对棉铃虫的田间抗虫效果

2.2.1 国抗 62 对田间虫口密度的影响: 从 6 月中旬起,第 1 代棉铃虫成虫开始在棉田产卵,在 6 月 30 日前后达到产卵的高峰期。调查结果表明,第 1 代产卵高峰期,国抗 62 平均百株落卵量 13 粒,中棉 35 平均百株落卵量 12 粒,两者差异不显著。棉铃虫幼虫在棉田的数量动态见图 2。可以看出国抗 62 棉田幼虫数量少于中棉 35 棉田,方差分析表明 7 月 5 日、7 月 11 日、7 月 14 日差异达极显著水平($df = 1, 8$, F 值分别为 9.91, 8.58, 17.02, P 值分别为 0.014, 0.019, 0.003)。第 2 代棉铃虫幼虫发生高峰期,国抗 62 与中棉 35 的百株虫量分别为 0.6 头和 4.2 头,前者比后者降低 85.7%。7 月下旬到 8 月下旬第 3 代棉铃虫发生期间,两个品种棉田棉铃虫数量没有显著差异。

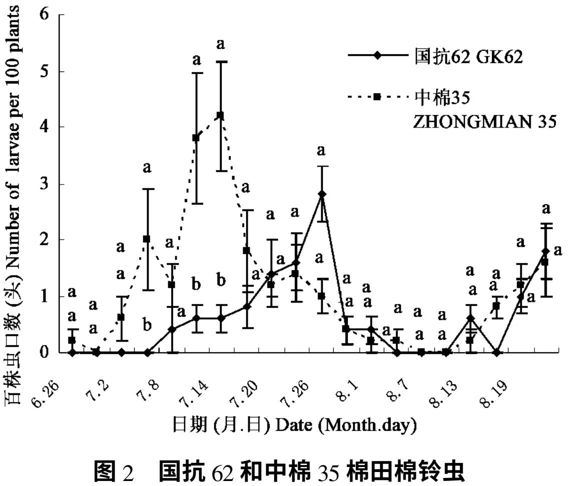

图 2 国抗 62 和中棉 35 棉田棉铃虫幼虫数量的季节变化

Fig. 2 Seasonal abundance of cotton bollworm larvae in GK62 and ZHONGMIAN35 cotton fields

同一天具有相同小写字母表示之间差异水平未达到显著($P > 0.05$)。下同。Data in the same day followed by the same small letter is not significantly different at $P > 0.05$ level. The same below.

2.2.2　国抗 62 对棉株顶尖和蕾铃的保护效果：7 月初调查，国抗 62 与中棉 35 的顶尖被害率最高分别为 0.2% 和 3.6%，国抗 62 顶尖被害率降低 94.4%，两者差异达极显著水平（$df = 1, 8$，$F = 13.88$，$P = 0.006$）。两个品种棉田棉铃虫不同时间造成的蕾铃被害率见图 3。6 月下旬到 7 月中旬第 2 代幼虫发生期间国抗 62 蕾铃被害率明显低于与中棉 35，差异达极显著水平（$df = 1, 8$，$4.87 \leqslant F \leqslant 124.13$，$0.000 \leqslant P \leqslant 0.015$）。第 2 代棉铃虫幼虫发生高峰期，国抗 62 与中棉 35 的蕾铃被害率分别为 1.4% 和 28.8%，国抗 62 蕾铃被害率降低 95.1%。而第 3 代幼虫发生期间两个品种的蕾铃被害率基本上没有显著差异。

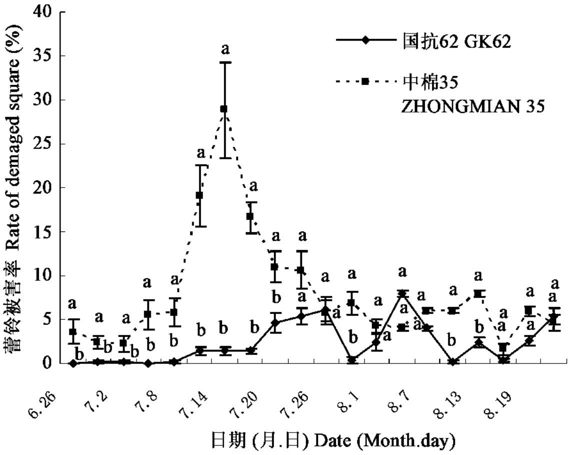

图 3　国抗 62 和中 35 棉田蕾铃被害率

Fig. 3　Rate of damaged square in GK62 and ZHONGMIAN35 cotton fields

3　结论与讨论

本研究表明国抗 62 对棉铃虫幼虫有很强的毒杀作用，幼虫取食后发育迟缓、体重减轻、存活率明显下降，该品种在田间对棉铃虫的抗虫效果非常明显。这一结果与国内外学者对其他转 Bt 基因抗虫棉的研究结果基本一致（孙长贵等，2003；任璐等，2004a，b；熊格生等，2006）。从田间抗虫效果来看，国抗 62 对 6 月底到 7 月中旬棉田发生的第 2 代棉铃虫的抗性很强。而 7 月下旬之后，其田间抗性减弱甚至消失。这与国内外培育的多数转 Bt 基因抗虫棉的田间表现也是一致的（张永军等，2001；孙伟和曹玉洪，2005）。

新疆南疆地区棉铃虫第 1 代主要发生于小麦田，对棉花危害很轻；第 2 代主要发生于棉田，导致有效蕾铃的数量减少，对棉花的危害最大；第 3 代和第 4 代在棉田发生数量较少，加上此时的蕾铃对棉花产量贡献很小，不会造成多大危害。因此南疆地区在棉铃虫防治上以第 2 代为主。本试验说明国抗 62 可以纳入南疆棉花害虫防治技术体系之中。

种植转 Bt 基因抗虫棉存在一定的生态风险，如棉铃虫产生抗性、对其它害虫和自然天敌的发生可能有一定影响等（Fitt *et al*.，1994；陈晓峰等，1997；赵建周等，1998；邓曙东等，2003；任璐等，2004；Rosset，2005；Pengue，2005；Sharma and Pampapathy，2006；吴孔明，2007）。新疆棉花采用‘矮密早’栽培技术，与其他棉区明显不同，棉花单株要求的结铃数相对较少，对棉铃虫耐害性相对较强。因此新疆各地应根据自己的产量水平、产量目标、当地棉铃虫发生水平及在常规棉田的防治指标，合理安排转 Bt 基因抗虫棉种植面积。目前转 Bt 基因抗虫棉品种较少，适合新疆各地不同环境条件的集抗虫性、抗病性、丰产性和优质于一体的品种更少，实践证明盲目种植并不能取得好的效益。种植转 Bt 基因抗虫棉以后，还应密切监测抗虫棉田各种害虫和自然天敌的种群动态变化，制定针对抗虫棉的病虫害综合防治技术体系。同时还应研究当地棉铃虫在其它植物和作物以及非转 Bt 基因抗虫棉之类的避难所对棉铃虫抗性产生的延缓效果，合理安排作物避难所的面积，以免棉铃虫对转 Bt 基因抗虫棉产生抗性。

致谢　新疆农业科学院经济作物研究所李雪原研究员为田间试验提供了帮助，新疆农业大学植保 2002 级学生阿不来提·克热木参与了部分工作，特致衷心感谢！

参 考 文 献（References）

Chen XF，Li DM，Dai XF，1997. Risk assessment of transgenic organism. *World Environment*，1：29－31.［陈晓峰，李典谟，戴小枫，1997. 转基因生物的风险评价. 世界环境，1：29－31］

Deng SD，Xu J，Zhang QW，Zhou SW，Xu GJ，2003. Effect of transgenic Bt cotton on population dynamics of the non-target pests and natural enemies of pests. *Acta Entomol. Sin.*，46（1）：1－5.［邓曙东，徐静，张青文，周世文，徐冠军，2003. 转 Bt 基因棉对非靶标害虫及害虫天敌种群动态的影响. 昆虫学报，46（1）：1－5］

Feng HB，Xu J，Zhang QW，Wang F，Song R，2003. Functional predation response of three main species to cotton bollworm in Xinjiang cotton-planting area. *Chinese Journal of Applied Ecology*，14（6）：1 026－1 028.［封红兵，徐静，张青文，汪飞，宋荣，2003. 新疆棉区主要捕食性天敌对棉铃虫捕食功能反应的研究. 应用生态学报，14（6）：1 026－1 028］

Fitt GP，Mares C L，Llewellyn DJ，1994. Field evaluation and potential ecological impact of transgenic cottons（*Gossypium hirsutum*）in Australia. *Biocontrol Science and Technology*，4：535－548.

Jia SR, Guo SD, An DC, 2001. Transgenic Cotton. Science Press, Beijing. 218–224. [贾士荣，郭三堆，安道昌，2001. 转基因棉花. 北京：科学出版社. 218–224]

Li HB, Wu KM, Yang XR, Xu Y, Yao J, Wang F, Ma Q, 2006. Trend of occurrence of cotton bollworm and control efficacy of Bt cotton in cotton planting region of Southern Xinjiang. *Scientia Agricultura Sinica*, 39(1): 199–205. [李号宾，吴孔明，杨秀荣，徐遥，姚举，汪飞，马祁，2006. 新疆南部棉区棉铃虫发生趋势及 Bt 棉花的控制效率. 中国农业科学，39(1): 199–205]

Li WD, Wu KM, Chen XX, Feng HQ, Xu G, Guo YY, 2003a. Effects of transgenic cotton carrying Cry1A + CpTI and Cry1A genes on the diversity of arthropod community in cotton fields in northern area of north China. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 11(4): 383–387. [郦卫弟，吴孔明，陈学新，封红强，徐广，郭予元，2003. 华北北部地区转 Cry1A + CpTI 和 Cry1A 基因棉田节肢动物多样性. 农业生物技术学报，11(4): 383–387]

Li WD, Wu KM, Chen XX, Feng HQ, Xu G, Guo YY, 2003b. Effects of transgenic cottons carrying Cry1A + CpTI and Cry1A genes on the structures and composition of pest and beneficial arthropod communities in cotton field in north China. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 11(5): 494–499. [郦卫弟，吴孔明，陈学新，封红强，徐广，郭予元，2003. 华北地区转 Cry1A + CpTI 和 Cry1A 基因棉棉田害虫和天敌昆虫的群落结构. 农业生物技术学报，11(5): 494–499]

Liu XX, Zhang QW, Cai QN, Li JC, Dong J, 2004. Effect of Bt protein on development of different strains of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) and the parasitoid, *Microplitis mediator* (Haliday). *Acta Entomol. Sin.*, 47(4): 461–466. [刘小侠，张青文，蔡青年，李建成，董杰，2004. Bt 杀虫蛋白对不同品系棉铃虫和中红侧沟茧蜂生长发育的影响. 昆虫学报，47(4): 461–466]

Ma Q, Li HB, Wang F, Uwais A, Yao J, Yang XR, 2000. Studies on the technique system of cotton IPM in Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, (1): 1–5. [马祁，李号宾，汪飞，阿克旦·吾外士，姚举，杨秀荣，2000. 新疆棉花害虫综合防治技术体系研究. 新疆农业科学，(1): 1–5]

Pengue W A, 2005. Transgenic crops in Argentina: The ecological and social debt. *Bulletin of Science Technology and Society*, 25(4): 314–322.

Ren L, Yang YZ, Qin QL, Yu YS, 2004a. Reciprocal effects of the transgenic cotton and parasitoids on the development of cotton bollworm. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 20(2): 80–83. [任璐，杨益众，秦启联，余月书，2004a. 转基因棉和寄生蜂对棉铃虫生长发育的互作效应. 江苏农业学报，20(2): 80–83]

Ren L, Yang YZ, Li X, Miao L, Yu YS, Qin QL, 2004b. Impact of transgenic Cry1A plus CpTI cotton on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) and its two endoparasitoid wasps *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae) and *Campoletis chlorideae* (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Acta Entomologica Sinica*, 47(1): 1–7. [任璐，杨益众，李瑄，苗麟，余月书，秦启联，2004b. 转基因抗虫棉对棉铃虫及其内寄生蜂的双重效应. 昆虫学报，47(1): 1–7]

Rosset PM, 2005. Transgenic crops to address third world hunger? A critical analysis. *Bulletin of Science Technology Society*, 25(4): 306–313.

Sun CG, Zhang QW, Xu J, Wang YX, Liu JL, 2003. Effects of transgenic Bt cotton and transgenic Bt + CpTI cotton on population dynamics of main cotton pests and their natural enemies. *Acta Entomologica Sinica*, 46(6): 705–712. [孙长贵，张青文，徐静，王因霞，刘俊丽，2003. 转 Bt 基因棉田和转双价基因棉对棉田主要害虫及其天敌种群动态的影响. 昆虫学报，46(6): 705–712]

Sharma HC, Pampapathy G, 2006. Influence of transgenic cotton on the relative abundance and damage by target and non-target insect pests under different protection regimes in India. *Crop Protection*, 25: 800–813.

Sun W, Cao YH, 2005. Study on the temporal and spatial expressions of Bt toxin protein of Bt transgenic cotton, *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 33(2): 202–203. [孙伟，曹玉洪，2005. 转 Bt 基因抗虫棉 Bt 毒蛋白表达量的时空变化. 安徽农业科学，33(2): 202–203]

Wu KM, Guo YY, 2005. The evolution of cotton pest management practices in China. *Annual Review of Entomology*, 50: 31–52.

Wu KM, 2006. Environmental impacts of Bt cotton commercialization in China. In: Proceedings of the First International Forum of Agricultural GMOs, Beijing, 19–21 September, 2006. 29–32.

Wu KM, 2007. Environmental impacts and risk management strategies of Bt cotton commercialization in China. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 15(1): 1–4. [吴孔明，2007. 我国 Bt 棉花商业化的环境影响与风险管理策略. 农业生物技术学报，15(1): 1–4]

Xinjiang News, 2006. Xinjiang Cotton Production Area Arrived to 12.43 Million Hectares in 2006. [新疆新闻网，2006. 新疆棉花种植面积达 1 864 万亩]

Xiong GS, Tang HM, Chen JX, 2006. Study on the status and development of the Chinese transgenic insect-resistant cotton. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 22(5): 192–196. [熊格生，唐海明，陈金湘，2006. 中国转基因抗虫棉的研究利用现状及发展对策. 中国农学通报，22(5): 192–196]

Xu Y, Wu KM, Li HB, Wang F, Sun SL, Li XY, 2004. Effects of transgenic Bt cotton on main pests and community of natural enemies in cotton fields. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 41(5): 345–347. [徐遥，吴孔明，李号宾，汪飞，孙世龙，李祥烨，2004. 转基因抗虫棉对新疆棉田主要害虫及天敌群落的影响. 新疆农业科学，41(5): 345–347]

Zhang YJ, Wu KM, Guo YY, 2001. On the spatio-temporal expression of the contents of Bt insecticidal protein and the resistance of Bt transgenic cotton to cotton bollworm. *Journal of Plant Protection*, 28(1): 1–6. [张永军，吴孔明，郭予元，2001. 转 Bt 基因棉花杀虫蛋白含量的时空表达及棉铃虫的毒杀效果. 植物保护学报，28(1): 1–6]

Zhang SY, Li DM, Xie BY, 2004. Effects of Bt toxic protein on development and activities of several relative enzymes in *Helicoverpa armigera*. *Entomological Knowledge*, 41(6): 536–540. [张少燕，李典谟，谢宝瑜，2004. Bt 毒蛋白对棉铃虫的生长发育和相关酶活性的影响. 昆虫知识，41(6): 536–540]

Zhao JZ, Zhao KJ, Lu MG, Fan XL, Guo SD, 1998. Interactions between *Helicoverpa armigera* and transgenic Bt cotton in north China. *Scientia Agricultura Sinica*, 31(5): 1–6. [赵建周，赵奎军，卢美光，范贤林，郭三堆，1998. 华北地区棉铃虫与转 Bt 杀虫蛋白基因棉花间的互作研究. 中国农业科学，31(5): 1–6]

Zhao KJ, Zhao JZ, Lu MG, Fan XL, 2000. A systematic evaluation of the effects of Bt transgenic cotton on the growth and development. *Journal of Plant Protection*, 27(3): 205–209. [赵奎军，赵建周，卢光美，范贤林，2000. 转基因抗虫棉对棉铃虫生长发育影响的系统评价. 植物保护学报，27(3): 205–209]

（责任编辑：袁德成）